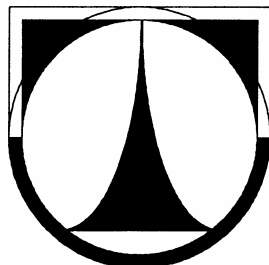


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



ROZVOD CEJCHOVNÍCH PLYNŮ V LABORATOŘI

KATEDRY VOZIDEL A MOTORŮ

**DISTRIBUTION OF CALIBRATED GASES IN LABORATORY,
DEPARTMENT OF VEHICLES AND ENGINES**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

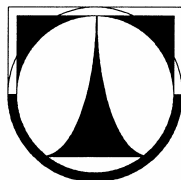
Jiří Matys

Leden 2008

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



Obor: B2341 Strojírenství

Zaměření: 2301R022 Stroje a zařízení

Dopravní stroje a zařízení

ROZVOD CEJCHOVNÍCH PLYNŮ V LABORATOŘI

KATEDRY VOZIDEL A MOTORŮ

DISTRIBUTION OF CALIBRATED GASES IN LABORATORY,

DEPARTMENT OF VEHICLES AND ENGINES

Bakalářská práce

KVM – BP – 122

Jiří Matys

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Moc Lubomír, CSc.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Blažek Josef

Počet stran: 41

Počet obrázků: 15

Počet příloh: 2

Počet výkresů: 4

Leden 2008

Místo pro vložení originálního zadání DP (BP)

ROZVOD CEJCHOVNÍCH PLYNŮ V LABORATOŘI KATEDRY VOZIDEL A MOTORŮ

Anotace

Bakalářská práce se zabývá tématem rozvodu plynů používaných k provozu analyzátorů v laboratořích katedry vozidel a motorů.

První část pojednává o základních možnostech měření koncentrace škodlivin ve výfukových plynech, vlastnostech a příslušenství analyzátorů.

Ve druhé části je navrženo řešení uspořádání sestavy pro použití při analýze škodlivin.

Klíčová slova: analýza emisí, kalibrace analyzátorů, rozvod plynů

DISTRIBUTION OF CALIBRATED GASES IN LABORATORY, DEPARTMENT OF VEHICLES AND ENGINES

Annotation

Matter of this bachelors work is distribution of calibrated gases which are used for working in gas emission analyzers in laboratories which belong to department of vehicles and engines.

First part contains basic styles of measurement concentration of air pollutions in exhaust gas, properties and accessories of gas emmision analyzers.

Suggested configuration of distribution calibrated gases is described in the second part of this bachelors work.

Key words: gas emission analyzers, calibration of gas emission analyzers, distribution of gas

Desetinné třídění: (př. 621.43.01 - Teorie spalovacích motorů)

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů

Dokončeno : 2008

Archivní označení zprávy: (nevyplňovat)

Prohlášení k využívání výsledků diplomové práce

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci dne 4. 1. 2008

.....

podpis

Poděkování

Tímto bych chtěl vyjádřit poděkování vedoucímu bakalářské práce, Doc. Ing. L. Mocovi, CSc. za cenné rady, které mi vždy ochotně poskytoval a za vedení při zpracovávání bakalářské práce. Díky patří mým rodičům a Janě, kteří mě po celou dobu studia podporovali.

Obsah

1	Úvod	9
2	Seznam symbolů, jednotek a zkratk	10
3	Složení výfukových plynů spalovacího motoru	11
4	Metody měření koncentrace škodlivin ve spalínách	12
4.1	Měření na principu absorpce infračerveného záření	12
4.2	Měření s využitím chemické luminiscence	15
4.3	Měření paramagnetických vlastností	17
4.4	Měření založené na principu změny elektrické vodivosti vodíkového plamene	19
4.5	Přechodové vlastnosti analyzátorů	20
4.6	Příslušenství analyzátorů výfukových plynů	22
4.7	Kalibrace analyzátorů	24
5	Laboratoře katedry vozidel a motorů	25
5.1	Typové listy analyzátorů v laboratořích KVM	25
5.2	Provozní plyny	25
5.3	Umístění tlakových láhví	26
5.4	Doprava plynu	27
5.4.1	Potrubí v laboratoři emisí katedry vozidel a motorů	27
5.4.2	Potrubí do laboratoře motorů katedry vozidel a motorů	30
6	Výpočtová část	33
6.1	Laboratoř emisí	33
6.1.1	Délka potrubí:	33
6.1.2	Objem potrubí	33
6.1.3	Kalibrační časy	33
6.2	Laboratoř motorů	35
6.2.1	Délka potrubí	35
6.2.2	Objem potrubí	35
7	Bezpečnostní a provozní předpis	36
7.1	Bezpečnostní opatření	36
7.1.1	Obecné bezpečnostní pokyny	36
7.1.2	Sklad tlakových láhví	36
7.1.3	Opatření v případě náhlého úniku	37
7.2	Provozní předpis	37

8	Závěr	39
9	Seznam použité literatury	40
10	Seznam příloh.....	41

1 Úvod

Vynález zážehového motoru s vnitřním spalováním Nicolausem Ottem z roku 1876, ale hlavně jeho zdokonalení pány Gottliebem Daimlerem a Karlem Benzem v Německu roku 1885 znamenalo začátek revoluce v dopravě. První vozidla poháněná spalovacím motorem byla vyvinuta v Evropě a Spojených státech v 90. letech 19. století.

Auta nezměnila jen podobu cestování, ale zásadním způsobem ovlivnila životní styl lidí. Nárůst počtu aut nastal hlavně po roce 1940. Dnes je na světě více než 900 miliónů motorových vozidel. Ta na jedné straně přinesla lidem mnoho pozitivního, na straně druhé poškozují životní prostředí. Na automobilové společnosti je vyvíjen tlak, aby produkovaly motory bez škodlivých zplodin. Faktem je, že počet vlastníků automobilů na světě každoročně roste asi o pět procent.

Pístové spalovací motory tedy mají za sebou více než stoletou historii a za tuto dobu se staly nejvýznamnějšími zdroji mechanické energie pro pohon automobilů. V současnosti pístové spalovací motory představují velmi významného původce znečišťování ovzduší a to užíváním uhlovodíkových paliv. Složení paliv a také jejich kvalita ovlivňuje nejen provozní podmínky motorů, ale i množství vznikajících emisí.

Emise škodlivin jsou důležitým parametrem motoru, protože existují legislativní podmínky pro udělení k provozu. Měření emisí tím v současnosti získává stále významnější postavení.

Úkolem této práce je navrhnout umístění tlakových láhvi a rozvod cejchovných plynů k analyzátorům emisí v laboratořích katedry vozidel a motorů.

2 Seznam symbolů a zkratk

CO.....	oxid uhelnatý
CO ₂	oxid uhličitý
CH ₄	metan
C ₂ H ₆	ethan
C ₃ H ₈	propan
H ₂	vodík
H ₂ O.....	voda
HC.....	uhlovodíky
He.....	helium
N ₂	dusík
NO.....	oxid dusnatý
NO ₂	oxid dusičitý
NO _x	oxidy dusíku
O ₂	kyslík
O ₃	ozón
ppm.....	parts per milion – 10 ⁻⁶ násobek, objemová koncentrace složky
π	konstanta
CLA.....	chemiluminiscenční analyzátor
FID.....	plamenoionizační detektor
KVM.....	katedra vozidel a motorů
NDIR.....	nedisperzní infračervený analyzátor

3 Složení výfukových plynů spalovacího motoru

Při spalování uhlovodíkového paliva se vzduchem vzniká dokonalou oxidací uhlíku a vodíku obsaženého v palivu oxid uhličitý (CO_2) a voda (H_2O).

Při nedokonalém spalování těchto prvků jsou ve spalínách přítomny oxid uhelnatý (CO) a vodík (H_2), tato situace nastává při nedostatku kyslíku, nedostatku času pro oxidaci nebo jako důsledek tzv. disociace spalin.

Při použití vzduchu jako okysličovadla je vždy nejvýznamnější (objemem) složkou dusík N_2 . Za vysokých teplot ve spalovacím prostoru vznikají oxidací vzdušného kyslíku oxidy dusíku (NO_x), složené především z oxidu dusnatého (NO) a malého množství oxidu dusičitého (NO_2).

Kyslík (O_2) se objevuje ve výfukových plynech, jestliže se jeho celé množství nepoužije k oxidaci paliva (byl ve směsi v přebytku nebo došlo k nedokonalému smíchání).

Nespálené uhlovodíky (HC) se objevují ve výfukových plynech při nepříznivých podmínkách pro oxidaci, jako je velký nedostatek kyslíku, nízká teplota v blízkosti stěn, vynechání jiskry. Při úplném nepřístupu vzduchu nastává při vysoké teplotě dekompozice molekul uhlovodíků, jejímž výsledkem je přítomnost pevného uhlíku (sazí) ve spalínách.

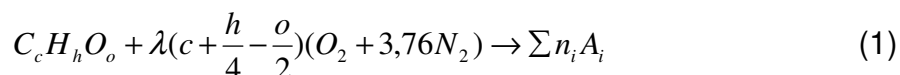
S výfukovými plyny vychází z motoru též určité (velmi malé) množství dalších tuhých částic které se vyskytují v pevné fázi (saze, karbon, popel, sloučeniny síry a kovů, nitridů, oxidů síry atd.) nebo v kapalně fázi (kapky uhlovodíků, které pocházejí z paliva a motorového oleje).

Síra obsažená v některých uhlovodíkových palivech vytváří při spalování v prostoru motoru oxidy síry, které jsou následně obsaženy ve spalínách. Sloučeniny olova jsou přítomny ve výfukových plynech motoru spalujícího benzín s antidetonační přísadou obsahující olovo (dnes se tyto přísady v motorových palivech téměř neužívá, neboť antidetonačních vlastností paliva je možno dosáhnout kvalitními uhlovodíky.).

Ze všech uvedených škodlivých plynů sledujeme CO , NO_x , HC (u zážehových i vznětových motorů), saze (pouze u vznětových motorů) a pevné částice (u vznětových motorů, vyhodnocují se společně se sazemí). Limitováním obsahu síry a olova v palivu lze ovlivnit i produkci oxidů síry a sloučenin olova. Základní vybavení pro měření plynných emisí se tedy skládá ze zařízení, které jsou schopny určit

koncentraci CO, NO_x a HC. Dále se požaduje měření kouřivosti a nebo koncentrace pevných částic ve spalínách (souvisí s produkcí sazí) u vznětových motorů. Vhodné je také měření koncentrace CO₂ a O₂ ve spalínách pro účely specifikace podmínek při spalování v motoru (pro stanovení průtoku spalín pro další vyhodnocení celkové nebo měrné produkce škodlivin).

Pojem koncentrace složky si vyjasníme pomocí stechiometrického zápisu spalovací rovnice:



c, h, o konstituční koeficienty uhlíku, vodíku a kyslíku v palivu

λ součinitel přebytku vzduchu

A_j chemický vzorec i-té složky

n_i počet molů i-té složky (vzniklých spálením jednoho molu paliva)

$\left(c + \frac{h}{4} - \frac{o}{2} \right)$ teoretická spotřeba kyslíku [mol.mol⁻¹]

Molární zlomek j-té složky je tedy:

$$c_j = \frac{n_j}{\sum n_i} \quad (2)$$

Koncentrace objemová je tedy molární zlomek vyjádřený obvykle v procentech (100 násobek hodnoty definované ve vzorci (2)) nebo častěji a pro malé koncentrace v jednotkách ppm (parts per milion = 10⁻⁶ násobek)

4 Metody měření koncentrace škodlivin ve spalínách

4.1 Měření na principu absorpce infračerveného záření

Infračervená oblast elektromagnetického záření je vymezena hodnotami vlnových délek 0,7 μm a 10⁴ μm. Při průchodu tohoto elektromagnetického vlnění vrstvou plynu je část jeho energie pohlcena. Obecně se při absorpci tohoto záření využije energie pohlceného fotonu na zvýšení energie atomu resp. molekuly látky. Energetickému obsahu fotonu v infračervené oblasti odpovídají změny vibračních a rotačních stavů molekul. Důležitá je okolnost, že absorpce může nastat jen tehdy, má-li molekula trvalý dipólmoment. To je důvodem, proč molekuly H₂, N₂ a O₂, které jsou souměrné, neabsorbují infrazáření. Tříatomová molekula vody s jejím prostorovým uspořádáním může zaujímat celou řadu vibračních i rotačních stavů a

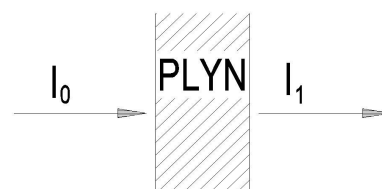
tomu odpovídá i poměrně složité absorpční spektrum. Vodní pára obsažená v různých provozních plynech může tedy způsobit významnou chybu měření. Pro označení na obr. 1 platí pro každou vlnovou délku Lambertův-Beerův absorpční zákon:

$$I_{1,\lambda} = I_{0,\lambda} \cdot e^{-\epsilon \rho l} \quad (3)$$

ρměrná hmota plynu

ϵ absorpční koeficient

l délka absorpční dráhy (tloušťka vrstvy plynu)



Obr. 1

Pro zjišťování přítomnosti individuálního plynu

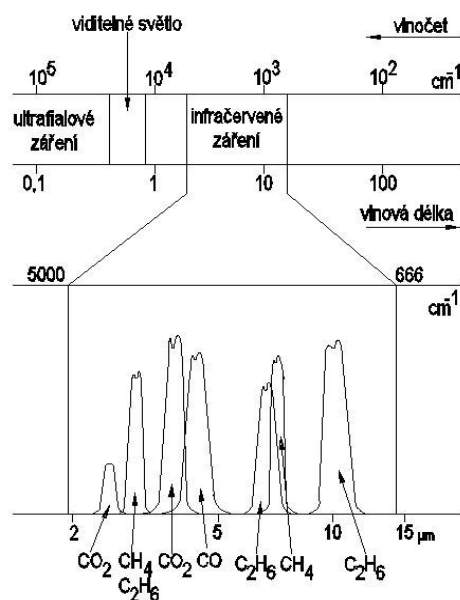
v analyzované směsi se využívá skutečnosti, že

závislost absorpčního koeficientu na vlnové délce zařízení je individuální vlastností každého plynu, který obsahuje v molekule alespoň dva různé atomy. Absorpce záření je vyjádřena vztahem:

$$A_{CELK} = \int \frac{I_{0,\lambda} - I_{1,\lambda}}{I_{0,\lambda}} d\lambda = \int (1 - e^{-\epsilon \rho l}) d\lambda \quad (4)$$

Absorpční spektra některých významných plynů, které absorbují záření, jsou zachycena na obr. 2. Absorpci individuálního plynu určuje plocha pod křivkou, která je na obrázku označena patřičným chemickým vzorcem (CO_2 , CH_4 , C_2H_6 , CO). Špičky těchto absorpčních spekter leží v té oblasti světla, která se nazývá infračervená.

Podstatnými částmi každého přístroje jsou: zdroj infračerveného záření, filtr pro výběr vhodné vlnové délky pro měřený plyn, kyveta s analyzovaným plynem a detektor záření. V infračervené oblasti jsou obtížněji dostupné vhodné filtry a detektory záření, proto se konstruktéři od samého začátku snažili nalézt speciální řešení, které by



Absorpční spektra vybraných plynů

Obr. 2

dovolilo dosáhnout částečné možnosti volby použitím poměrně jednoduchých prostředků. Proto některé přístroje z klasického schématu vybočují a spojují několik funkcí do jedné součásti.

Typickým příkladem je princip pozitivní filtrace. Nejstarší bezdisperzní infračervené analyzátory využívaly právě tohoto principu. Tyto přístroje jsou také označovány jako analyzátory se selektivními detektory. Vliv absorpce ostatních složek ve směsi se tu potlačuje požitím detektorů, které jsou citlivé pouze na vlnové délky odpovídající měřené složce.

Analyzátory s pozitivní filtrací využívají faktu, že záření vlnových délek příslušných měřené složce se pohlcuje nejlépe právě touto složkou. Využívá se také toho, že pohlčením zářivé energie se plyn ohřeje. Zvýšení teploty plynu se projeví zvětšením tlaku nebo objemu. Jak změny teploty, tak i změny tlaku či objemu je možno měřit a převést na elektrický výstupní signál pomocí membrány tlakového převodníku.

Základní schéma uspořádání přístroje s pozitivní filtrací je na obr. 3.

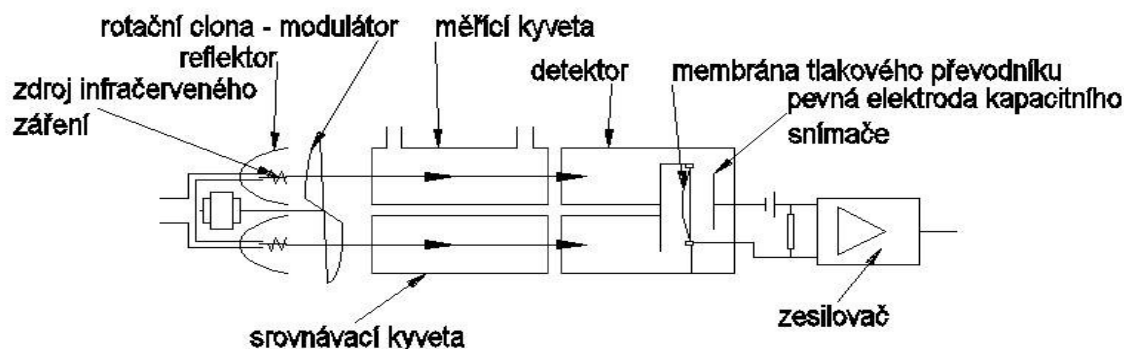


Schéma uspořádání přístroje s pozitivní filtrací

Obr. 3

Není-li v měřicí kyvetě měřená složka, je oběma detektory zachycována celá zářivá energie vlnových délek příslušných měřené složce. Rozdíl signálů obou detektorů je nulový. Přejde-li do měřicí kyvety měřená složka, zmenší se zářivý tok příslušné vlnové délky. Výstupní signál z obou detektorů bude tudíž menší a rozdíl obou signálů nabude hodnoty, která je úměrná hodnotě koncentrace měřené složky.

Je-li v měřicí kyvetě přítomna látka, která absorbuje záření jiných délek, nemá to vliv na výsledek měření, neboť detektor na jiné vlnové délky, pakliže se absorpční pásy doprovodné a měřené složky nepřekrývají, nebude reagovat.

Protože selektivita přístroje není dosažena klasickými metodami, jako jsou monochromatický zdroj světla nebo použití filtrů pro příslušné vlnové délky, nazývá se popsáný přístroj nedisperzní infračervený analyzátor (NDIR). Tyto přístroje se používají jako standardní metoda k určování koncentrace oxidu uhelnatého a uhličitého. Je použitelný i pro stanovení koncentrace individuálního uhlovodíku nebo jejich směsi. Odezva na konkrétní složení je ovšem náhodná, takže výsledek stanovené koncentrace HC má orientační charakter, proto se tato metoda může požívat pro rychlou kontrolu produkce uhlovodíků.

Provedení jednotlivých přístrojů od výrobců se může lišit v detailech, existuje i uspořádání s několika komparátory, které současně zjišťují koncentraci více složek. Citlivost přístroje je závislá především na délce kyvety. Poměr největšího a nejmenšího rozsahu (regulovatelný změnou zesílení při elektronickém zpracování signálu komparátoru) je asi 1:10. Toto je určeno tím, že se nevyrábějí přístroje s přenastavitelnou délkou kyvety. Pro měření všech hodnot koncentrací CO ve spalínách v rozmezí od setin procenta (vznětový motor, zážehový motor spalující chudou směs, nebo s katalyzátorem) do jednotek procent (zážehový motor spalující bohatou směs) nám tedy nestačí jenom jeden přístroj. Uvedený přístroj (infraanalyzátor) je nejjednodušším typem analyzátoru. Pro měření totiž nemusíme dodávat další provozní látky.

4.2 Měření s využitím chemické luminiscence

Chemická luminiscence je emise specifických energetických kvant (protonů) provázející některé chemické reakce. Analyzátor využívající tuto metodu se převážně požívají pro měření nižších imisních koncentrací oxidů dusíku, postupem času však našly uplatnění i pro měření emisních koncentrací. Takovouto reakcí je oxidace oxidu dusného ozónem:



Hvězdička v exponentu NO_2^* naznačuje, že vznikající molekula oxidu dusičitého je v excitovaném stavu, to znamená, že má vyšší energii než odpovídá normálním podmínkám. Přebytku energie se molekula NO_2^* zbavuje vysláním fotonu, jak vyjadřuje schéma:



$h\nu$ energetické kvantum

hPlanckova konstanta

νfrekvence

Ozón se vyrábí v přístroji působením elektrostatického pole o vysokém napětí na molekuly kyslíku. Je možné si představit, každá srážka molekul NO a O₃ je doprovázena světelným zábleskem. Ústřední částí chemiluminiscenčního analyzátoru je tedy komůrka se dvěma přívody plynu. Jedním se přivádí analyzovaná směs, druhým ozón. Ke komůrce pak přiléhá detektor světelného záření. Selektivity přístroje na frekvenci ν je možno dosáhnout předřazením vhodného optického filtru. Za předpokladu, že ozón je přiváděn v přebytku, je výstupní signál detektoru přímo úměrný množství přiváděného oxidu dusnatého. Oxid dusičitý přítomný v analyzované směsi se na výsledku měření vůbec neprojeví. Tato složka se reakce nezúčastňuje, protože je sama jejím produktem. Nemůže se proto projevit ani světelným zářením. Koncentraci oxidu dusičitého je možno chemiluminiscenční

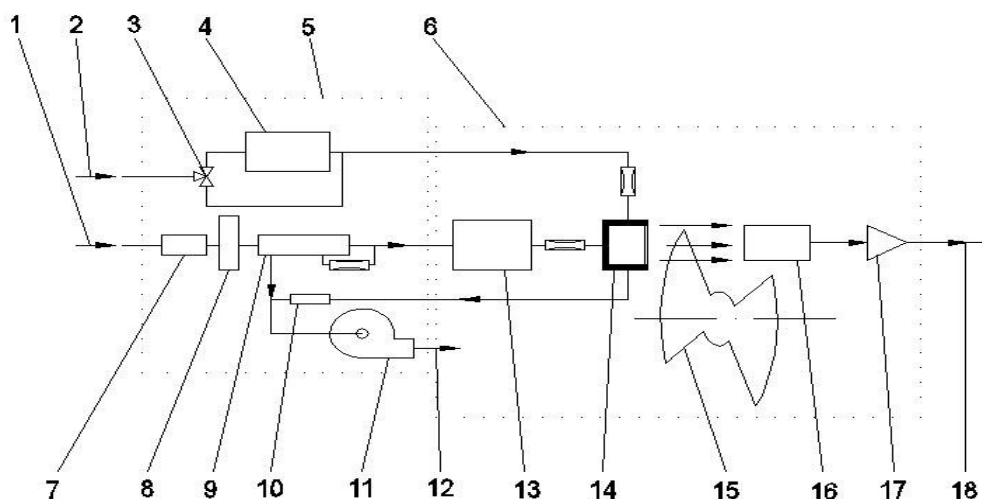


Schéma chemiluminiscenčního analyzátoru Servomex 1491 pro stanovení NO a NO₂

1 – vstup čistého vzduchu, 2 – vstup měřeného plynu, 3 – přepínací kohout, 4 – katalytický reaktor, 5 – přidavná jednotka, 6 – měřicí jednotka, 7 – absorbér s aktivním uhlím, 8 – filtr, 9 – permeační sušící jednotka, 10 – absorbér s aktivním uhlím, 11 – dmychadlo, 12 – plyn do opadu, 13 – generátor ozónu, 14 – měřicí komora, 15 – rotační clona – modulátor, 16 – fotonásobič, 17 – zesilovač, 18 – výstup signálu

Obr. 4

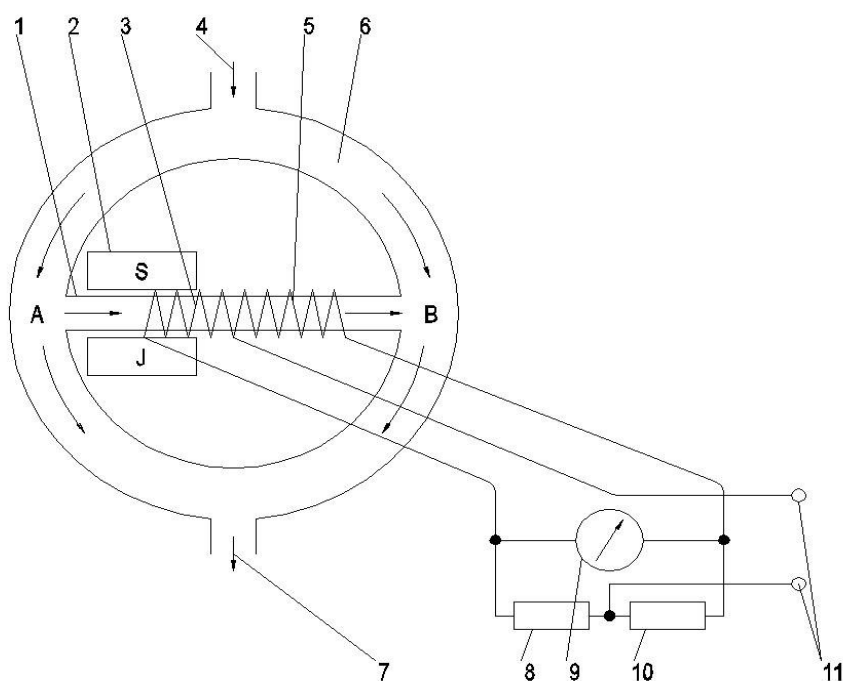
metodou měřit jen v případě, kdy převedeme oxid dusičitý na oxid dusnatý ještě před vstupem do měřicí komory.

Chemiluminiscenční analyzátor (CLA) je velmi citlivý a selektivní. Součástí tohoto analyzátoru je i přesná stabilizace průtoku analyzované směsi. Stabilizace je nutná, protože intenzita záření je úměrná množství přiváděného oxidu dusnatého. Možnosti změn měřicího rozsahu jsou značné, jeden přístroj lze tedy používat

od měření imisních hodnot (koncentrace ovzduší – nejmenší rozsah 2 ppm) až po emisní hodnoty (maximálně 1%, tento rozsah se ovšem použije při experimentech na spalovacích motorech pouze v etapě zjišťování základních souvislostí – motor s touto produkcí NO_x by v žádném případě nemohl vyhovět ekologickým požadavkům). Při provozu analyzátoru musí být zajištěn stálý přísun kyslíku (nebo syntetický nebo suchý vzduch pouze pro nízké koncentrace NO_x) přes redukční ventil z tlakové láhve.

4.3 Měření paramagnetických vlastností

U paramagnetických látek se elementární magnetické momenty úplně nekompensují. Osy elementárních magnetických dipólů zaujímají v důsledku tepelného pohybu naprosto obecné polohy v prostoru, účinkem vnějšího magnetického pole se ale začnou orientovat – vytváří se rovnováha mezi rušivým účinkem tepelného pohybu a orientujícím se účinkem magnetického pole. Intenzita magnetického pole pak uvnitř tělesa vzrůstá, a těleso je přitahováno do míst s větší hustotou vnějšího magnetického pole. Paramagnetické látky jsou tedy vtahovány do



Kruhová komora magnetického analyzátoru

1 – měřicí trubice, 2 – pólové nástavce permanentního magnetu, 3 – topné vinutí, měřicí strana, 4 – přívod analyzovaného vzduchu, 5 – topné vinutí, srovnávací strana, 6 – kruhová komora, 7 – výstup analyzovaného vzduchu, 8 – srovnávací odpory Wheatstoneova můstku, 9 – měření výstupního napětí, 10 – srovnávací odpory Wheatstoneova můstku, 11 – přívod napájecího napětí

Obr. 5

magnetického pole. Z plynů má nejvyšší permeabilitu kyslík, z tohoto důvodu se princip měření magnetických vlastností plynu používá v přístrojích pro stanovení koncentrace kyslíku v analyzované směsi. Nejdůležitější součástí všech zařízení, které pracují na tomto principu je elektromagnet nebo permanentní magnet, jehož magnetické pole přitahuje molekuly kyslíku. Podle způsobu orientace průtoku vzorku v blízkosti pólových nástavců magnetu a také podle způsobu měření intenzity působení magnetického pole na analyzovaný plyn se přístroje rozlišují na magnetomechanické (statická metoda), magnetopneumatické a termomagnetické (na obr. 5).

Všem dynamickým přístrojům je společné, že měřený plyn v nehomogenním magnetickém poli je zahříván, při čemž vzniká proudění plynu, které se označuje jako magnetický vítr. Vodorovná měřicí trubice nese dvě vinutí z odporového materiálu s vysokým teplotním koeficientem. Kyslík vtažený do magnetického pole z levé větve prstence ztrácí při zvýšení teploty (podle Curieho zákona) magnetismus a je vytlačován přísunem studeného kyslíku. Strháváním okolních nemagnetických molekul vzniká stabilní průtok měřicí trubici (magnetický vítr). Odporové vinutí na levé straně se ochlazuje stálým přísunem proudu studeného vzduchu. Ochlazování vinutí vpravo je méně intenzivní, protože magnetický vítr je už zahřátý. Koncentraci kyslíku ve vzorku je úměrný rozdíl teplot a odporů obou vinutí.

Nejvyšší poměr rozsahů k přepínání bývá u termomagnetického analyzátoru 1:20, u zbylých dvou metod je to 1:100. Selektivitu lze dobře posuzovat podle tab. 1,

O ₂	NO	NO ₂	H ₂	CH ₄	CO	CO ₂	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	N ₂
100	43	28	0,24	-0,20	0,01	-0,27	-0,46	-0,84	0

Tab. 1

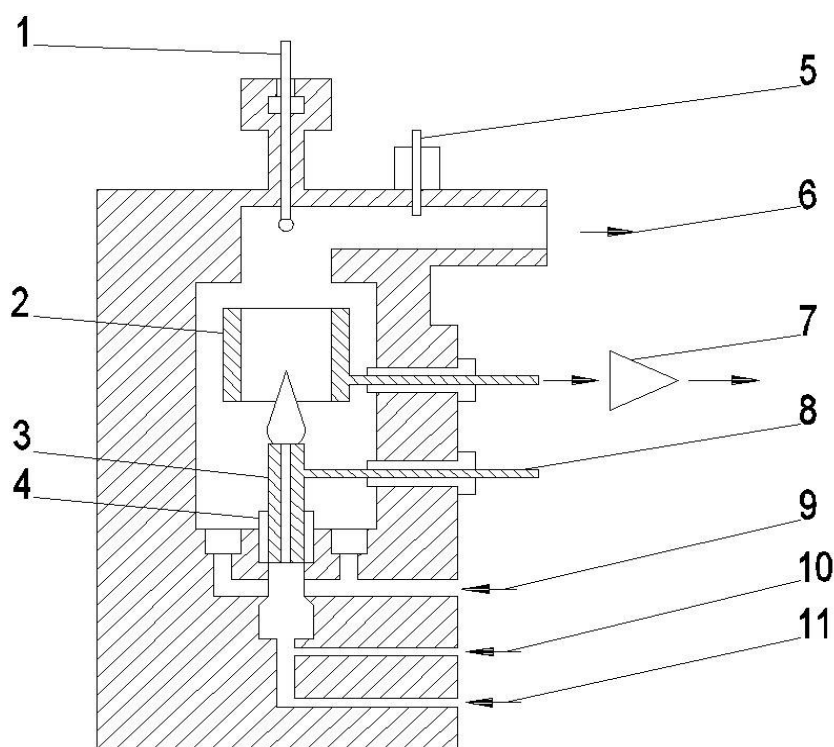
jejíž druhý řádek udává výchylku přístroje (zdánlivou koncentraci kyslíku v procentech), která by nastala, kdyby byl analyzovaný plyn tvořen pouze čistou složkou uvedenou v prvním řádku.

Při měření (nízkých) koncentrací kyslíku ve vzorku v produktech chemických procesů se musí přijímat zvláštní opatření pro omezení vlivu příčné citlivosti na výsledek analýzy. Při měření složení výfukových plynů je zkreslení koncentrace kyslíku prakticky zanedbatelné snad s výjimkou měření při běhu zážehového motoru, který spaluje mírně bohatou směs (řádově stejná koncentrace O₂ a NO).

Provoz tohoto typu analyzátoru, který pracuje na principu měření paramagnetických vlastností, nevyžaduje dodávku žádného provozního media.

4.4 Měření založené na principu změny elektrické vodivosti vodíkového plamene

V analyzátorech s ionizací v plameni se využívá toho, že za přítomnosti organických par se v plameni hořícího vodíku vytvářejí snadno ionizovatelné částice, které mohou zprostředkovat vedení elektrického proudu mezi elektrodami umístěnými v blízkosti plamene. Uspořádání měřicího systému analyzátoru s ionizací v plameni je na obr. 6. Podstatné při tom je, že velikost procházejícího elektrického proudu je úměrná koncentraci organické látky. Pro vyhodnocení výsledku je příznivé i to, že při spalování samotného vodíku ionty nevznikají, nebo mají tak krátkou životnost, že vodíkový plamen elektrický proud nevede. Protože se v analyzovaných směsích vyskytuje několik organických látek společně, je nutno vědět, jak přispívají jednotlivé složky k výslednému proudu. Na první pohled platí, že velikost proudu, při jinak stejné molární hmotnosti, je úměrná počtu uhlíků v molekule organické látky.



Schematický řez měřicí komorou analyzátoru s ionizací v plameni

1 – termočlánek, 2 – sběrací elektroda, 3 – tryska hořáku – druhá elektroda, 4 – zapalovací elektroda, 5 – kontrolní čidlo, 6 – výstup plynu, 7 – zesilovač, 8 – přívod napětí na elektrodu, 9 – vstup spalovacího vzduchu, 10 – vstup vodíku, 11 – vstup měření plynu

Obr. 6

Například stejná molární koncentrace etanu vyvolá zhruba dvakrát větší proud než metan. Ve skutečnosti je potřeba počítat s jistými odchylkami, které jsou způsobeny různým prostorovým uspořádáním molekul, jsou proto označovány jako strukturální chyby.

Spalovací vzduch nasávaný z atmosféry se zbavuje možných přítomných organických sloučenin v katalytickém čističi. Část tohoto vzduchu je smíchána s vzorkem a vodíkem ještě před vstupem do hořáku, aby se zachoval konstantní tvar plamene. Soustava obsahuje několik regulátorů a kapilár pro nastavování tlakových a průtokových podmínek. Celé vedení analyzovaného vzorku (včetně pumpy, filtru, hořáku) může být temperováno až do 200 °C. Po zesílení se hodnota proudu, který prochází plamenem, uvádí jako údaj koncentrace.

Změnou zesílení v elektronické části zařízení lze nastavovat rozsah měření v poměru 1:100. Citlivost přístroje je definována poměrem vodíku a vzorku do plamene, což dále rozšiřuje možnosti. Údaj z plamenoionizačního detektoru (FID) se liší od výsledku analýzy metodou NDIR s komparátorem naplněným některým čistým uhlovodíkem nebo jakoukoli směsí, proto je vhodné ve výsledcích měření uvést i použitou metodu (HC_{FID}).

Při provozu přístroje se musí trvale dodávat vodík, případně směsí H_2/He nebo H_2/N_2 .

4.5 Přechodové vlastnosti analyzátorů

Jedním z kritérií kvality analyzátorů je rychlost jeho odezvy na změnu složení analyzovaného plynu. V souvislosti se zpožděním údajů při změnách koncentrací se hovoří o dynamických vlastnostech analyzátorů. Pro vyšetřování dynamických vlastností se využívá nejčastěji náhlé, tzv. skokové změny koncentrace na vstupu plynu do analyzátoru nebo celého analyzátorového systému. Jako nejkrajněji zjednodušený příklad si můžeme představit fotometrický analyzátor, u kterého je analyzovaná směs přiváděna přímo do měřicí kyvety. Změní-li se náhle koncentrace měřené složky při vstupu do kyvety, začne se měnit údaj na analyzátoru. Pokud by byla směs o staré koncentraci vytěšňována směsí o nové koncentraci pístovým vtokem, byla by změna údaje analyzátoru lineární. Další možností je předřazení delšího úseku potrubí před kyvetu, v tomto případě by se změna na analyzátoru projevila až po časové prodlevě.

Celková časová prodleva se dá vypočítat podle vztahu:

$$T_{CELK} = T_k + T_z = \frac{V_k + V_p}{\dot{V}} \quad (7)$$

T_k doba výměny plynu v kyvetě

T_p doba výměny plynu v potrubí

V_k objem kyvety

V_p objem potrubí

\dot{V} objemový průtok kyvetou

V kyvetě (NDIR) nebo v měřicí komoře (CLA) dochází ve skutečnosti k promíchávání plynu, přechod na nový údaj koncentrace proto neprobíhá lineárně. Při dokonalém promíchávání má přechodová křivka tvar, který lze matematicky popsat vztahem:

$$c_u = c_s * (1 - e^{-\frac{t}{T_k}}) \quad (8)$$

c_uúdaj analyzátoru

c_skoncentrace měřené složky

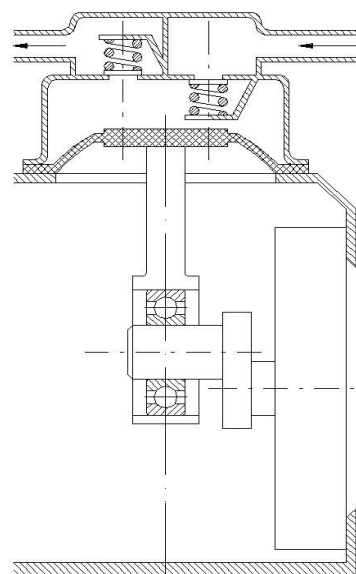
V analyzátorovém systému nebývá jen měřící kyveta a odběrové potrubí, ale i další součásti, kterými se průběh přechodové křivky dále deformuje.

Teoreticky dosáhne údaj hodnoty odpovídající změně koncentraci až po nekonečně dlouhé době. Při praktickém měření se obvykle připouští jistá chyba a v tom případě ukáže analyzátor novou koncentraci v konečném čase. Připustíme-li odchylku 1%, trvá potom přechod na novou hodnotu koncentrace $4,6 * T_k + T_p$. Jelikož není možné dosáhnout stoprocentní hodnoty koncentrace, uvádí se při hodnocení dynamických vlastností analyzátorů hodnota T_{90} , definovaná hodnota, za kterou dosáhne údaj přístroje 90-ti% hodnoty skokové změny na vstupu plynu. Oproti teoretické hodnotě T_{90} , která se rovná přibližně $2,3 * T_k + T_p$ (záleží na součástech v systému), zahrnuje katalogová hodnota T_{90} i zpoždění v řetězci vyhodnocování koncentrace do odečitatelné podoby, nebo se uvádí dva údaje zvlášť, a to $T_{90PNEUMATICKÁ}$ a $T_{90ELEKTRONICKÁ}$. Průtok \dot{V} bývá u výše popsaných analyzátorů přibližně v rozmezí 0,5 až 2 l/min. Dá se definovat pomocí prvků nastavujících podmínky v pracovní komoře nebo výkonem pumpy. Přístroj FID v podstatě nemá pracovní komoru, tudíž na hodnotě T_{90} (0,5s) se vůbec nepodílí doba smíchání směsi.

4.6 Příslušenství analyzátorů výfukových plynů

Před vstupem plynu do analyzátoru je zapotřebí ze vzorku odstranit všechny pevné nečistoty, které by mohly zanášet průtokové průřezy malé světlosti (kapiláry) nebo ovlivnit přímo výsledky měření (absorpce záření pevnými tělesy v kyvetě NDIR). Z těchto důvodů je součástí vzorkové tratě vždy obsáhlá soustava filtrů.

Způsob řízení dodávky vzorku u některých analyzátorů (FID) přímo vyžaduje vestavěnou pumpu, která nejen dopravuje vzorek analyzovaného plynu, ale také svým zdvihovým objemem a otáčkami hnacího elektromotoru definuje průtok. Standardní součástí ve vybavení přístroje pro analýzu výfukových plynů je externí pumpa. K tomuto účelu se využívá zcela výhradně objemový stroj s membránou a automatickými ventily (Obr. 7). Výkon pumpy (průtok) rozhodujícím způsobem ovlivňuje přechodové vlastnosti analyzátoru podle vztahu (7). Pumpa je nejporuchovějším zařízením v soustavě, nejčastější závada vzniká usazeninami v oblasti ventilků. Závada způsobuje netěsnost a neprůchodnost ve správném směru, je snadno odstranitelná vyčištěním.



Pumpa s membránami

Obr. 7

Jak bylo uvedeno, výfukové plyny jdoucí z motoru, který spaluje uhlovodíková paliva, obsahují vodu. Po ochlazení spalin klesne teplota pod rosný bod a část vody kondenzuje. Přítomnost kapalné vody ve vzorku ohrožuje funkci přístrojů (dochází k ucpávání kapilár) a zkresluje naměřené hodnoty, protože počet molů ve vztahu (2) ve jmenovateli je nejistý (část vody je ve vzorku v plynném skupenství a zbytek vytvoří kapičky na stěnách hadic atp.). Z tohoto důvodu je nutno před vstupem plynu do přístrojů vodu odstranit v odlučovači (analyzujeme suché spaliny) nebo naopak udržovat stavové anebo směšovací poměry vzorku trvale takové, aby se voda udržela v plynném stavu (měříme mokré spaliny). Nevýhodou způsobu zjišťování suchých spalin je možnost zkreslení výsledku, které je způsobeno odloučením některé ze sledovaných složek. Proto ekologická legislativa vyžaduje temperování vzorku, rovněž tak i systém přístroje a ostatních přístrojů, alespoň na 180 °C. Používá se elektricky vyhřívaná trať s termostatickou regulací. Jiná možnost, jak udržet

relativní složky v plynném skupenství, je snížení jejich parciálního tlaku zředěním spalin vzduchem.

Kromě běžných, ale přesných škrtících ventilů se vyskytují ve skříní analyzátoru regulátory tlaku. Principem je rovnováha sil pružiny a tlaku plynu na membránu. Nevýhodou je ztráta části dopravovaného média, což je problematické zvláště když se stejná trať používá i na přívod kalibračního plynu. Na vnější stranu membrány můžeme přivádět (jako regulační signál) tlak z výstupu vzorku z přístroje – analyzátor pracuje se stálým rozdílem tlaků mezi vstupem a výstupem.

Úplná sestava i s příslušenstvím pro měření koncentrace plynných složek v suchých spalinách je na Obr. 8. Pro analýzu mokrých spalin se vynechává

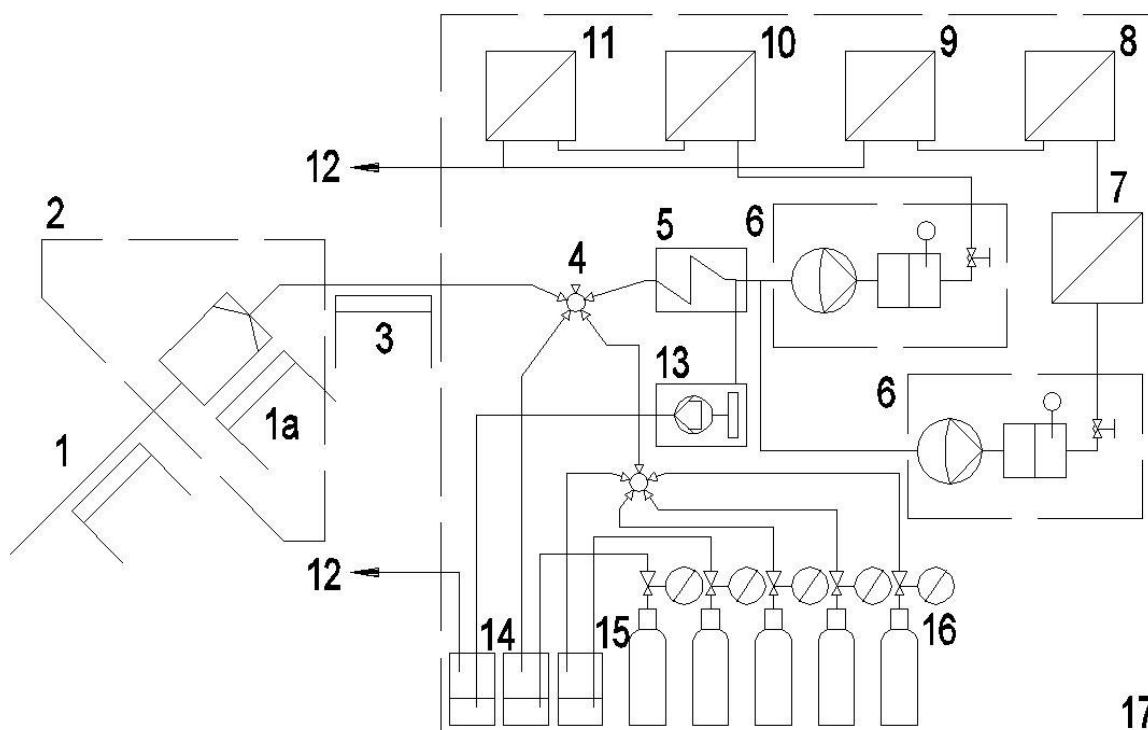


Schéma úplné sestavy analyzátoru i s příslušenstvím

1 – vytápěná odběrová sonda, 1a – topení obklopující filtr, 2 – ochranná skříň sondy, 3 – vyhřívané potrubí, 4 – několikacestný kohout, 5 – chladič, 6 – dopravní jednotka, 7 – konvertor NO₂-NO, 8 – analyzátor NO, 9 – analyzátor SO₂, 10 – analyzátor CO₂ a CO, 11 – analyzátor O₂, 12 – plyn do odpadu, 13 – automatické vypouštění kondenzátu, 14 – sběrač kondenzátu, 15 – zvlhčovač plynu, 16 – tlakové lahve s kalibračními plyny resp. s nulovacím plynem, 17 – analyzátorová buňka

Obr. 8

v zapojení odlučovač vody a v různých místech soustavy se instalují topná tělesa udržující teplotu vzorku nad rosným bodem.

4.7 Kalibrace analyzátorů

Všechny popsané metody pro určování koncentrace individuálního plynu ve směsi zajišťují selektivitu na konkrétní plyn a citlivost přístroje (tj. dostatečnou odezvu na změnu koncentrace u sledované složky). Pro dosažení shody údaje přístroje s absolutní hodnotou příslušné koncentrace je potřebné provést kalibraci analyzátoru, tj. nastavení polohy sklonu úsečky, kterou by se znázornil vztah mezi skutečnou koncentrací komponenty ve vzorku a úrovní elektrické veličiny, která je přiváděna na svorky ukazovacího nebo záznamového zařízení. Jediným správným postupem pro tuto činnost je použití kalibračních plynů.

Nulová výchylka analyzátoru se nastaví (obvykle nulovacím potenciometrem), když se měřicí systém proplachuje dusíkem, nebo alespoň čistým suchým vzduchem. Ze zřejmých důvodů se suchý vzduch nepoužívá při nulování analyzátorů pro měření koncentrace O_2 . Pro nastavení dalšího bodu stupnice se na vstup přístroje pro vzorek připojí směs individuálního plynu (jehož koncentraci má příslušný přístroj zjišťovat) s nosným plynem, který odezvu přístroje neovlivní (nejčastěji N_2 , pro kalibraci analyzátoru FID syntetický vzduch). Tyto směsi dodávají specializovaní výrobci a mají zaručené složení plynu. Koncentrace kalibračního plynu by měla být přibližně shodná s předpokládaným obsahem v měřeném vzorku. U některých zařízení je nutné několikrát opakovat nulování a kalibraci, jelikož se tyto operace navzájem ovlivňují.

Pro kalibraci analyzátoru FID se používá jako sledovaná složka některý čistý uhlovodík (nejčastěji metan, propan), u kterého se užije přepočet na údaj vyjádřený jako molární zlomek jiného uhlovodíku (kalibrační plyn ve skutečnosti obsahuje např. 100 ppm propanu). Nastavíme výchylku stupnice na 100 a budeme měřit C_3H_8 v jednotkách ppm. Můžeme také nastavit výchylku 300 a přístroj bude připraven k udávání koncentrace CH_4 v ppm. Je nutné uvádět údaj koncentrace vždy v souvislosti s použitým kalibračním plynem.

I s nejkvalitnějším přístrojem je nutno provádět nulování a kalibraci vždy před začátkem měření a, pakliže měření vyžaduje kontrolu, i na konci měření. Některé analyzátory mají naprogramován periodicky se spouštějící kalibrační cyklus. V tomto případě musí být tlaková láhev s kalibračním plynem připojena k zapnutému přístroji neustále.

5 Laboratoře katedry vozidel a motorů

5.1 Typové listy analyzátorů v laboratořích KVM

Typové listy analyzátorů jsou v příloze č.1

5.2 Provozní plyny

Provozní plyny se užívají k nulování, kalibraci u všech typů analyzátorů a jako palivo jen u některých typů analyzátorů.

K nulování se užívá syntetického vzduchu (CLA, FID) a dusíku N₂ (NDIR, paramagnetický analyzátor). Kalibračních plynů je více druhů, protože existují i různé koncentrace škodlivin v emisních plynech. Koncentrace kalibračního plynu by měla být přibližně shodná s koncentrací v měřeném vzorku. Údaje o těchto plynech jsou uvedeny v tabulce č. 2. Je potřeba dodat, že uvedené hodnoty koncentrací se mohou

CO	CO ₂	HC-B	HC-D	NO _x	CH ₄
45,5 ppm	1,11 %	9,54 ppm		9,5 ppm	9,11 ppm
91,3 ppm	2,28 %	23,5 ppm		23,2 ppm	
234,0 ppm		45,2 ppm	45,2 ppm	46,0 ppm	
466,0 ppm					

Tab. 2

lišit podle aktuální dodávky plynů do firmy Linde, a. s. Tlakovou láhev vždy doprovází certifikační protokol, který obsahuje složení, které jsme požadovali a složení, které má aktuální plyn v lahvi. Jako paliva se u analyzátorů typu FID používá vodíku (H₂) a Helia (He), které se směšují v poměru pro daný typ přístroje (např. 60/40). Dále se využívá syntetický vzduch bez uhlovodíků (O₂/N₂ – 20/80). A také se dá mezi tento druh plynů zařadit kyslík (O₂), jenž je potřeba k výrobě ozónu v CLA detektorech. Pracovní plyny a jejich průtoky, které analyzátor v laboratoři KVM potřebují k práci, jsou uvedeny v tabulce č. 3 v jednotkách ml/min nebo l/h. V tabulce č. 3 jsou také uvedeny celkové (součet všech dílčích spotřeb) nároky na pracovní plyny.

Všechny tyto plyny jsou dodávány firmou Linde Gas, a. s. Jsou dodávány v tlakových láhvích, jejichž barevné označení, odpovídá normě ČSN EN 1089-3. Ta stanovuje závazné barvy pro vrchní část lahve. Válcová část lahve může mít barvu libovolnou. V současné době platí dva druhy barevných značení. Stávající značení platí do 30. června 2008, nové „celoevropské“ od 1. ledna 1999. Nově označené

Analyzátor	Spotřeba plynu (ml/min)				
	H ₂	He	O ₂	Syntetický vzduch	Průtok vzorku
NDIR	-	-	-	-	30 - 60 l/h
CLA Horiba	-	-	280 - 360	-	2 ± 1 l/min
CLA Beckman	-	-	500 - 1000	-	0,2 l/min
FID Horiba	46	69	-	190	2 ± 1 l/min
FID Hartmann-Braun	50(3)	66,67(4)	-	2500(150)	100-130 l/h
Paramagnet.	-	-	-	-	0,3 - 1 l/min
CELKEM	96	135	780 - 1360	2690	-

Tab. 3 (pozn. V závorce jsou uvedeny průtoky v l/h)

láhve poznáte podle písmene „N“ na vrchní části láhve.

Podrobnější popis označování tlakových láhví je uveden v příloze č. 2. Schéma zapojení tlakové láhve je na obrázku č. 9. Takto obdobně jsou zapojeny tlakové láhve se všemi užívanými plyny: tzn. nulovací, kalibrační a pracovní (paliva – H₂, He).

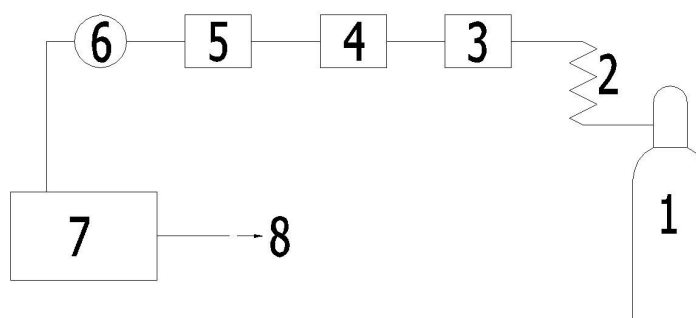


Schéma zapojení tlakové láhve
 1 – Tlaková láhev, 2 – Šroubovitý tepelný výměník, 3 – Regulační ventil pro vysoký tlak, 4 – Elektromagnetické ovládání obvodu, 5 – Bezpečnostní uzavírací ventil, 6 – Regulační ventil pro jemnou regulaci, 7 – Analyzátor emisí, 8 – Odvod plynu do odpadu

Obr. 9

5.3 Umístění tlakových láhví

Prvořadá je nutnost vymezit podmínky, které dodržujeme z bezpečnostního hlediska:

- 1) Láhve musí být chráněny před nárazem a proti pádu.
- 2) Zakazuje se umísťovat provozní a zásobní láhve ve sklepech, suterénních prostorách, na únikových cestách, schodištích, v šatnách a sociálních zařízeních.

- 3) Místnosti a prostory, kde jsou umístěny provozní a zásobní láhve musí být větratelné z hlediska požadavků na požární a hygienické předpisy a ve vztahu k druhům skladovaných plynů.
- 4) Zásobní nepoužívané láhve, opatřené snímatelným kloboučkem, musí mít tento klobouček nasazený.
- 5) Zkoušky, opravy a údržbu tlakových lahví na plyny mohou provádět pouze oprávněné organizace.
- 6) Odvětrání prostorů dle charakteru plynu

Umísťovat tlakové láhve s kalibračními a pracovními plyny je proto z provozního i z bezpečnostního hlediska vhodné v zadní místnosti v laboratořích KVM. Toto umístění označuje výkres č. 3. Uvedená pozice je vhodná, protože již jsou v tomto prostoru umístěny některé regulační a ovládací prvky soustavy podle obr. 9. Od těchto regulačních ventilů a ovladačů je snadné propojení na další ovládací prvky, které jsou umístěny ve vedlejší místnosti. K propojení se využije oddělená část v průřezu potrubí vzduchotechniky, které ústí v měřicí místnosti. Bezpečnostní zajištění lahví proti pádu je pomocí přípravku s řetízkem. Výšku upevnění bezpečnostního rámu je vhodné volit více než jednu polovinu výšky nejvyšší láhve, kterou máme zapojenou v oběhu. Optimální připevnění tohoto rámu (vzhledem k předpokladu dodávky plynových lahví) je asi 70 cm od země pro láhve do výšky 1 metr. Pro láhve vyšší než 1 metr je uchycení tohoto přípravku vhodné volit okolo 1 metru od podlahy. Výkres bezpečnostního přípravku má číslo 4(KVM-BP-122-04).

5.4 Doprava plynu

5.4.1 Potrubí v laboratoři emisí katedry vozidel a motorů

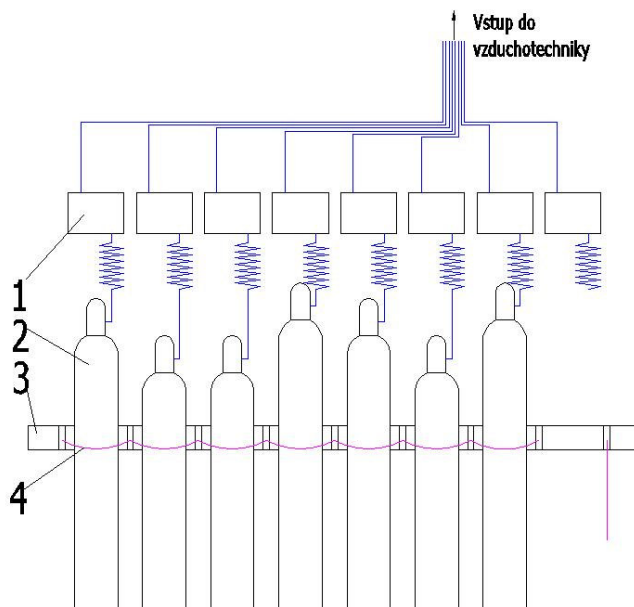
Přívodní potrubí k analyzátorům mívají nejrůznější světlost a bývají z různých materiálů. Kompromisem mezi požadavkem na co nejmenší objem a co nejmenší dynamický odpor je světlost okolo 6 mm. Nejmenší objem požadujeme proto, že se minimalizuje dopravní zpoždění.

Volba materiálu potrubí závisí hlavně na chemickém složení dopravovaného plynu. U všech materiálů je nutno uvažovat o možné chemické i fyzikálně chemické reakci, kterých se kontrolovaná složka ve styku s materiálem může účastnit.

Naměřené hodnoty mohou významně ovlivnit také reakce, se kterými se běžně nekalkuluje. Příkladem může být oxid uhelnatý, který reaguje se železem za vzniku

karbonylu železa. Zvláště při nižších koncentracích oxidu uhelnatého jsou ocelové trubky nevhodné. Nevhodnou volbou přívodního potrubí by výsledek mohl být ovlivněn už při nulování, nebo následně při kalibraci.

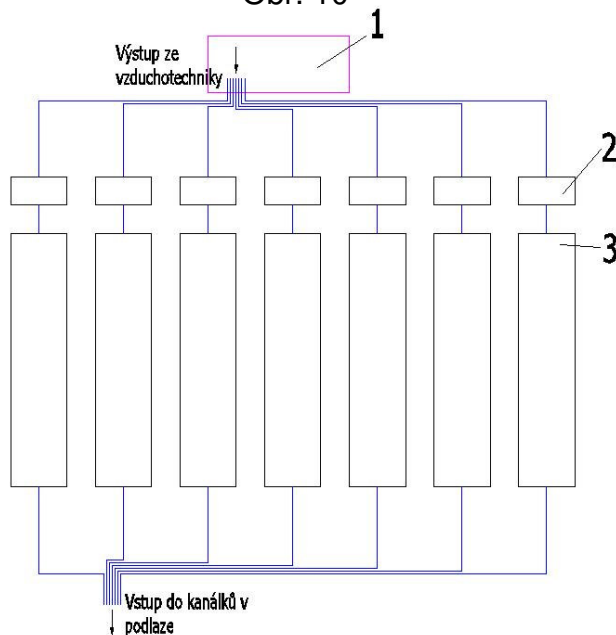
Pro přenos plynných médií laboratoři emisí katedry vozidel a motorů se užívají



Propojení tlakových láhví před vstupem do vzduchotechniky

1 – Regulační prvky obvodu (regulační ventil, elektromagnetický ovládací ventil), 2 – Tlaková láhev s potřebným plynem, 3 – Bezpečnostní rám upevněný na zdi, 4 – Řetízky bezpečnostního rámu

Obr. 10



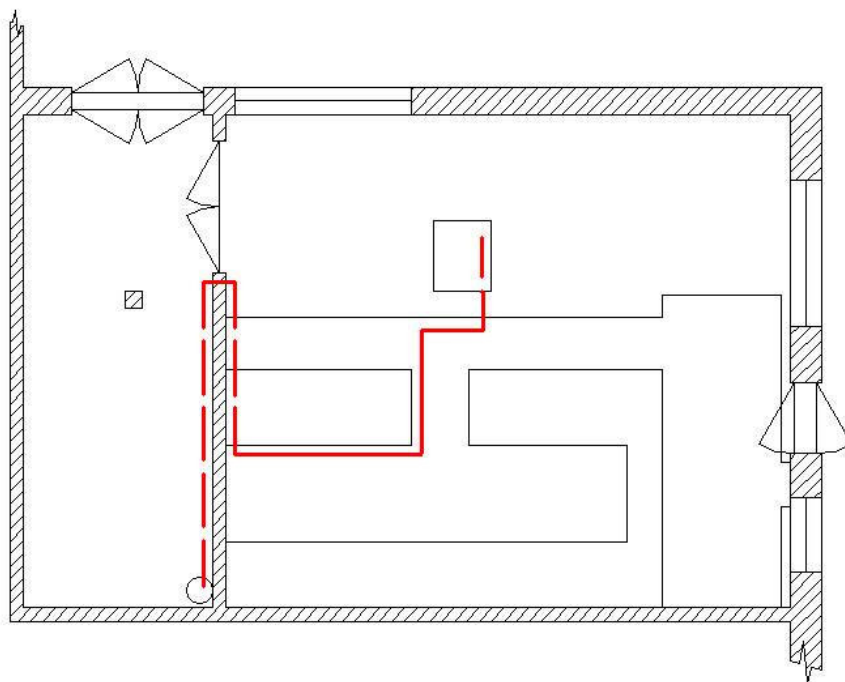
Propojení tlakových láhví po výstupu ze vzduchotechniky

1 – Výstupní proud vzduchotechniky, 2 – Bezpečnostní uzavírací ventily, 3 – Regulační ventily pro jemnou regulaci

Obr. 11

teflonové trubičky (polytetrafluoretylen) se světlostí 4 mm a 5 mm. Propojení na straně tlakových láhví je přibližně naznačeno schematickým obrázkem č. 10. Na obr. 11 je schematicky naznačeno zapojení na straně měřicí místnosti.

Poté, co připojíme bezpečnostní uzavírací ventil a jemnou regulaci na straně laboratoře emisí KVM, zavedeme teflonové trubičky do podpodlažního systému a povedeme je podle obrázku č. 12, finálně zapojíme do analyzátorů. Důležité je



Vedení potrubí k analyzátorům

Obr. 12

pokusit se sloučit některé plyny do jedné přívodní trubičky k analyzátoru – nulovací a kalibrační plyny pro jednotlivé analyzátory a poté ovládat přes bezpečnostní

Analyzátor (Měřená složka)	Sloučené plyny na vstup do analyzátoru
NDIR (CO, CO ₂)	nulovací N ₂ , kalibrační CO (45,5;91,3;234,0;466,0ppm) a CO ₂ (1,11;2,28ppm)
CLA (NO _x)	nulovací syntetický vzduch, kalibrační NO _x (9,5;23,2;46,0ppm)
FID (HC)	nulovací syntetický vzduch, kalibrační HC (9,54;23,5;45,2ppm) a CH ₄ (9,11ppm)
Paramag.	nulovací N ₂

Tab. 4

uzavírací ventil a jemnou regulací přívod potřebného plynu. Tyto plyny je vhodné sdružit podle následující tabulky č. 4.

Vhodné by bylo označit oba konce trubičky páskou stejné barvy, aby se předešlo potenciálnímu chybnému zapojení.

Dle předpokládaného umístění potrubí by bylo vhodné vypočítat přibližné množství plynu, které obsahuje dopravní soustava. Tento výpočet se užije k určení předpokládaného času, který je třeba k výměně mezi nulovacím a kalibračním plynem v dopravní soustavě. Dle výkresu s číslem KVM-BP-122-02 a obrázku č. 12 se dá přepokládat umístění potrubí a dá se také určit jeho přibližná délka. Při této kalkulaci musíme počítat s tím, že teflonové trubičky nemůžeme ohnout pod úhlem 90°, ale musí být ohnuty s nějakým vhodným rádiusem – tzn. nemůžeme přesně kopírovat umístění podzemních kanálů a délka potrubí nám vzroste.

5.4.2 Potrubí do laboratoře motorů katedry vozidel a motorů

Do laboratoře motorů katedry vozidel a motorů povedou pouze nulovací, kalibrační a palivové plyny pro analyzátory složek CO, HC a NO_x. Budeme tedy zásobovat médii analyzátory typů NDIR, FID a CLA. Plyny, které budeme potřebovat vyplynou z katalogových listů analyzátorů přílohy č.1. Kalibrační plyny budeme dopravovat pouze ty, které mají nejvyšší hodnotu koncentrace. Potřebné plyny jsou pro analyzátory jsou uvedeny v tabulce č. 5.

Analyzátor (Měřená složka)	Nulovací plyn	Kalibrační plyn	Palivový plyn
NDIR (CO)	N ₂	CO (446 ppm)	-
CLA (NO _x)	Syntetický vzduch	NO _x (46 ppm)	O ₂
FID (HC)	Syntetický vzduch	HC (45,2 ppm)	H ₂ , He, Syntetický vzduch

Tab. 5

Bylo by ekonomicky nevhodné mít připojené dvě láhve s plyny stejné koncentrace nebo dvě láhve s palivovými plyny, z nichž jedna by vedla k analyzátoru

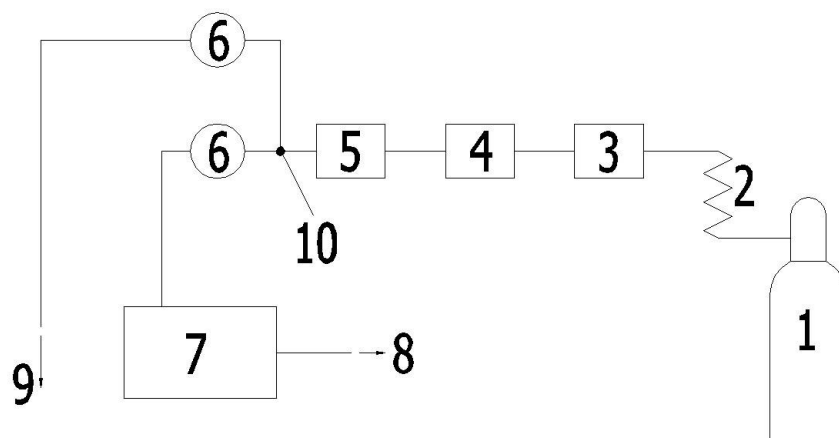


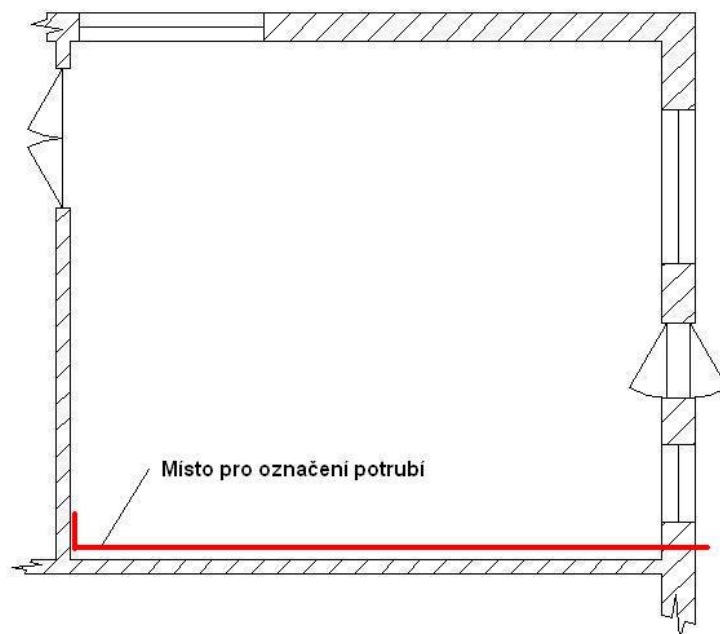
Schéma zapojení tlakové láhve s vybočením

1 – Tlaková láhev, 2 – Šroubovité tepelný výměník, 3 – Regulační ventil pro vysoký tlak, 4 – Elektromagnetické ovládání obvodu, 5 – Bezpečnostní uzavírací ventil, 6 – Regulační ventily pro jemnou regulaci, 7 – Analyzátor emisí, 8 – Odvod plynu do odpadu, 9 – Odvod plynu do laboratoře motorů KVM, 10 – Rozdělení dopravního potrubí

Obr. 13

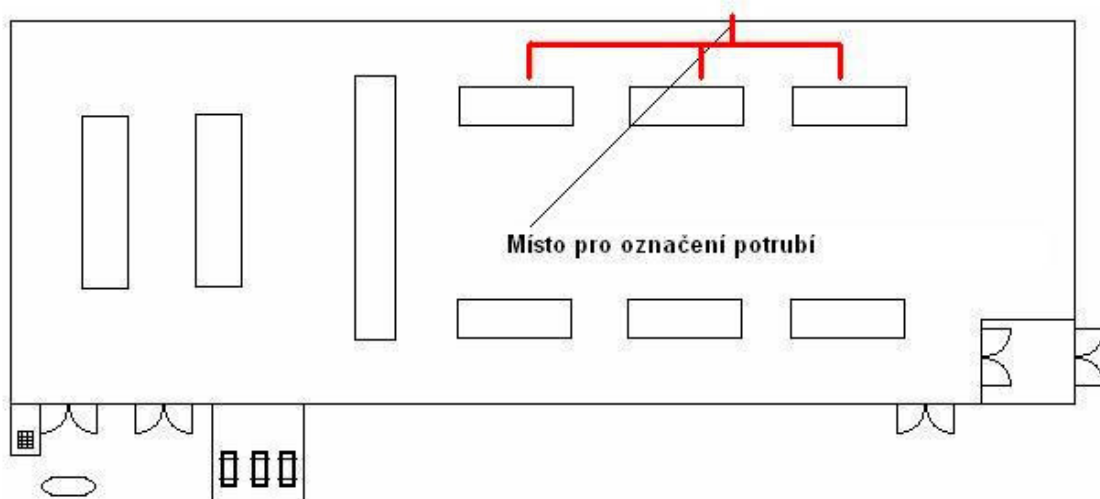
v laboratoři emisí a druhá k měřicímu přístroji v laboratoři motorů katedry vozidel a motorů. Z tohoto důvodu je dobré provést rozdělení dopravního systému v místě mezi bezpečnostním uzavíracím ventilem a ventilem pro jemnou regulaci tak jak je to naznačeno na obrázku č. 13.

Rozdělení lze provést například tvarovou spojkou tvaru T. Poté zavést potrubí do ventilu pro jemnou regulaci aby byla možnost měnit množství dodávaného plynu. Rozdílné bude následující vedení tlakového potrubí. V předchozím případě se využilo podzemního kanálkového systému a teflonových hadiček. Při vedení plynů v analyzátorům v laboratoři motorů katedry vozidel a motorů se využije vedení nad úrovní podlahy a ocelových trubiček. Tyto trubičky je vhodné volit opět s malou světlostí 5 milimetrů a z kvalitní oceli například třídy 15, která se využívá na tlakové nádoby. Umístnění tohoto potrubí je vzhledem k bezpečnosti vhodnější spíše u stropu než u podlahy. Musíme vzít v úvahu také bezpečnost, jelikož budeme dopravovat hořlavé plyny. V nízké výšce by mohlo dojít ke snadnému porušení potrubí, kdežto u stropu se pravděpodobnost porušení potrubí značně zmenšuje. Potrubí bude zavěšeno, pomocí objímek, na obvodové zdi laboratoře emisí katedry vozidel a motorů jak je naznačeno na obrázku č. 14. Napojení na systém ocelových trubek malé světlosti od systému jemné regulace se provede pomocí teflonových trubiček. Na straně vstupu do laboratoře motorů bude potřeba vybourat otvor ve zdi a



Vedení plynu přes laboratoř emisí katedry vozidel a motorů
Obr. 14

potrubí vést v chráničce, aby se předešlo vlivu okolního prostředí (např. posun nosných stěn). Po vstupu do laboratoře motorů je vhodné užít pro rozmístění polohu již existujícího rozvodu zemního plynu a přivést analyzační plyny ke třem brzdovým stanovištím motorů, jak je schematicky naznačeno na obrázku č.15.



Vedení plynu – laboratoř motorů katedry vozidel a motorů
Obr. 15

Vhodné je označit na několika místech dopravovaný obsah potrubí. Navrhoval bych toto označení formou štítku nebo doplňující tabulky připevněné k potrubí. Místa tohoto označení bych zvolil:

a) na přechodu mezi teflonovými trubičkami a ocelovými trubkami
(označeno v obrázku č. 14)

b) ihned za zdí v laboratoři motorů (označeno v obrázku č. 15)

Bylo by na potřebné označovat tato potrubí v souladu s normou ČSN 13 0072 –
Označování potrubí podle provozní tekutiny.

Vzhledem k výměně plynů mezi nulovacím a kalibračním bych doporučoval
vypočítat přibližný objem plynů v potrubí, aby se urychlila kalibrace analyzátoru.

6 Výpočtová část

6.1 Laboratoř emisí

6.1.1 Délka potrubí:

Délka tohoto potrubí je přibližně 5 metrů. Abychom předešli případnému zalomení
trubičky a následně zmenšení její propustnosti přidáme k této délce další 1 metr.
Předpokládaná délka teflonových trubiček za ventily jemné regulace je tedy 6 metrů.

6.1.2 Objem potrubí

K výpočtu objemu potrubí užijeme vzorec pro výpočet objemu válce:

$$V = l \cdot \frac{\pi * d^2}{4} = 1,178 \times 10^{-4} m^3 = 0,1178 dm^3 \quad (9)$$

V..... objem potrubí

l.....délka potrubí (6 m)

d..... průměr potrubí (5×10^{-3} m)

6.1.3 Kalibrační časy

K tomuto výpočtu potřebujeme znát průtoky vzorků a také reakční dobu
jednotlivých analyzátorů. Tyto hodnoty nalezneme v katalogových listech analyzátorů
– viz. Příloha 1.

Velikosti kalibračních časů a plynu potřebného ke kalibraci jsou uvedeny v tab.
č. 6 a č. 7. Rozdíl mezi hodnotami v obou tabulkách je ve velikosti průtoku – zatímco
v tabulce č. 6 je použito k výpočtům průtoku maximálně možného v tabulce č. 7 se
k výpočtu užila hodnota nejmenšího možného průtoku. K výpočtu hodnot v tabulkách
bylo užito následujících vzorců:

$$t_P = \frac{V}{Q} \quad (10)$$

$$t_N = t_R + t_P; t_K = t_R + t_P \quad (11,12)$$

$$t_C = n \cdot (t_N + t_K) \quad (12)$$

$$V_{MIN} = Q \cdot t_C \quad (13)$$

V Objem potrubí [m^3]

Q Objemový průtok potrubím [m^3/s]

t_P čas průtoku plynu potrubím [s]

t_N čas nulování [s]

t_R čas reakce analyzátoru [s]

t_K čas kalibrace analyzátoru [s]

t_C čas celkové kalibrace (včetně nulování) [s]

V_{MIN} minimální objem plynu potřebný ke kalibraci [m^3]

n počet opakování cyklů nulování a kalibrace

Analyzátor (výrobce)	t_R [s]	Q [m^3/s]	t_P [s]	t_N [s] t_K [s]	t_C [s]	V_{MIN} [m^3]
NDIR (Hartmann-Braun)	1,5	$1,667 \times 10^{-5}$	7,069	8,569	51,402	$0,857 \times 10^{-4}$
CLA (Horiba)	2,5	5×10^{-5}	2,356	4,856	29,137	$1,457 \times 10^{-4}$
CLA (Beckman)	3	$0,333 \times 10^{-5}$	35,34	38,343	230,058	$0,767 \times 10^{-4}$
FID (Horiba)	2,5	5×10^{-5}	2,356	4,856	29,137	$1,457 \times 10^{-4}$
FID (Hartmann-Braun)	1,5	$3,611 \times 10^{-5}$	3,262	4,762	28,575	$1,032 \times 10^{-4}$
OXYMAT 5E (Siemens)	3,5	$1,667 \times 10^{-5}$	7,069	10,569	63,412	$1,057 \times 10^{-4}$

Tab. 6 (Hodnoty kalibrace pro maximální průtoky)

Vypočtené hodnoty objemů plynů a také kalibračních časů jsou minimálně možné, protože není možné v jediném okamžiku uzavřít přívodní potrubí. Z vypočtených hodnot by se sestavoval provozní předpis popisující přesný postup při kalibraci analyzátorů.

Analyzátor (výrobce)	t_R [s]	$Q[m^3/s]$	t_P [s]	t_N [s] t_K [s]	t_K [s]	$V_{MIN} [m^3]$
NDIR (Hartmann-Braun)	1,5	$8,333 \times 10^{-6}$	14,137	15,937	93,823	$0,782 \times 10^{-3}$
CLA (Horiba)	2,5	$16,667 \times 10^{-6}$	7,069	9,569	57,412	$0,957 \times 10^{-3}$
CLA (Beckman)	3	$3,333 \times 10^{-6}$	35,34	38,343	230,058	$0,767 \times 10^{-3}$
FID (Horiba)	2,5	$16,667 \times 10^{-6}$	7,069	9,569	57,412	$0,957 \times 10^{-3}$
FID (Hartmann-Braun)	1,5	$27,778 \times 10^{-6}$	1,241	5,741	34,447	$0,957 \times 10^{-3}$
OXYMAT 5E (Siemens)	3,5	5×10^{-6}	23,562	27,062	162,37	$0,812 \times 10^{-3}$

Tab. 7 (Hodnoty kalibrace pro minimální průtoky)

6.2 Laboratoř motorů

6.2.1 Délka potrubí

Délka tohoto potrubí se dá přibližně odhadnout z výkresové dokumentace k laboratořím katedry vozidel a motorů. Délku tohoto potrubí bych k výpočtu volil 15 metrů.

6.2.2 Objem potrubí

K výpočtu objemu potrubí užijeme vzorec pro výpočet objemu válce (9):

$$V = l \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 2,945 \times 10^{-4} m^3 = 0,2945 dm^3$$

Vobjem potrubí

ldélka potrubí (15 m)

d průměr potrubí (5×10^{-3} m)

7 Bezpečnostní a provozní předpis

7.1 Bezpečnostní opatření

7.1.1 Obecné bezpečnostní pokyny

Veškeré práce na rozvodu i jeho obsluhu smí provádět pouze odborně školená osoba, která je seznámená s místními poměry

Před vpuštěním plynu do systému je nutné provést jeho odvětrání, aby byla zaručena přesně požadovaná koncentrace plynu. Dále je nezbytné se přesvědčit, zda jsou uzavřeny všechny vývody potrubí.

S ohledem na rozsah oprav je nutné po každé z nich provést tlakovou zkoušku, případně kontrolu pěnivou kapalinou nebo detektorem v místě opravy.

Pokud je rozvod plynu dlouhodobě nepoužíván je potřeba uzavřít hlavní ventil na tlakové láhvi, tu odpojit od soustavy a zajistit bezpečnostním kloboučkem.

Nekrytý plynovod do laboratoře motorů nesmí sloužit jako nosná konstrukce pro zavěšování jakýchkoli břemen, vyjma dalších plynovodů.

Značení rozvodů i skladu plynů je nutné udržovat v bezvadném, čitelném stavu. Není-li tomu tak, vyměnit celé označení za nové ve stejném provedení.

Vybavit okolí skladu plynů dostatečným množstvím hasících přístrojů vhodných k hašení případného požáru

7.1.2 Sklad tlakových láhví

Láhve, které se skladují v uzavřené místnosti musí tvořit samostatný požární úsek. Jejich podlaha musí být z nehořlavých materiálů. Skladiště musí mít zajištěnou alespoň trojnásobnou výměnu vzduchu za hodinu. Sklady láhví musí být chráněny proti vlivům atmosférické elektřiny (tzn. bleskosvod, vhodná volba podlahy). Na obou dveřích skladu musí být označení – tabulka s druhem plynu, prostor s nebezpečím výbuchu, zákaz kouření, zákaz vstupu s otevřeným ohněm, zákaz vstupu nepovolaným osobám. Tyto tabulky musí být stále viditelné (např. nesmí být zakryta při otevření dveří).

7.1.3 Opatření v případě náhlého úniku

Případný indikace úniku plynu zaznamená bezpečnostní systém laboratoří katedry vozidel a motorů.

Ihned se pokusit uzavřít přívod plynu pomocí hlavního nebo bezpečnostního ventilu, pokusit se zabránit dalšímu šíření – využít všechny možnosti k uzavření nebo utěsnění tělesa. Informovat příslušný úřad pouze v případě nezbytně nutném (Hasiči, Ambulance). Provést evakuaci, zabránit možnosti vznícení hořlavého plynu od např. otevřeného ohně, tělesa s vyšší teplotou, zabránit vzniku statické elektřiny. Prostor úniku plynu důkladně větrat a měřit koncentraci plynu v ovzduší. Navrácení k běžnému provozu je možné až v případě, že koncentrace klesla pod povolenou hodnotu.

7.2 Provozní předpis

K provozování plynovodů musí mít každá organizace vytvořen místní provozní řád, který detailně řeší problematiku pro všechny druhy plynu. Provozní řád musí být vypracován s ohledem na příslušné předpisy. Obsluhou plynovodů mohou být pověřeni pouze pracovníci, kteří jsou odborně způsobilí.

Místní provozní řád pro plynárenská zařízení tvoří provozní dokumentace, která musí obsahovat:

a) základní náležitosti

- 1) titulní list
- 2) obsah
- 3) adresy a telefonní čísla pohotovostí, opravárenské, zdravotnické a protiplynové služby a ohlašovny požáru
- 4) základní technické hodnoty zařízení
- 5) popis zařízení a požadavky na jeho umístění
- 6) stručnou charakteristiku plynu
- 7) situační náčrt s popisem umístění zařízení

b) ostatní náležitosti

- 1) základní schéma plynové části zařízení od hlavního uzávěru příslušného zařízení včetně jeho označení
- 2) pokyny pro regulaci, měření, ovládání samočinně pracujících elementů, zabezpečovacího zařízení a dalších zařízení
- 3) pokyny pro přezkoušení funkce plynového zařízení

- 4) pokyny pro odvzdušnění a způsob kontroly
- 5) pokyny pro odplynění a způsob kontroly
- 6) pokyny pro hledání netěsností, včetně lhůt
- 7) pokyny pro kontrolu odvzdušnění, včetně lhůt
- 8) pokyny pro uvádění do provozu včetně způsobu obsluhy
- 9) pokyny pro provoz
- 10) pokyny pro odstavení z provozu
- 11) pokyny pro případ poruchy, havárie a požáru
- 12) termíny pro provádění kontrol, revizí, plánovaných oprav a čištění
- 13) zásady pro první pomoc podle druhu používaného plynu a charakteru zařízení
- 14) požadavek na vybavení pracovníků obsluhy osobními ochrannými prostředky, potřebnými přístroji a nářadím
- 15) zvláštní požadavky

8 Závěr

V bakalářské práci jsem se zabýval rozvodem cejchovných plynů v laboratořích katedry vozidel a motorů. Tyto cejchovné plyny jsou nutné k provozu analyzátorů v obou laboratořích k nulování, kalibraci a jako paliva.

V úvodní části jsou vysvětleny principy přístrojů ke zjišťování jednotlivých složek škodlivin ve výfukových plynech a jejich příslušenství. V další části je zpracován návrh rozvodu cejchovných plynů do laboratoře emisí a do laboratoře motorů katedry vozidel a motorů.

Vypracoval jsem potřebnou výkresovou dokumentaci laboratoře emisí, skladovací místnosti a bezpečnostního upevňujícího přípravku pro tlakové láhve.

9 Seznam použité literatury

- 1) Bartoníček, L.: Konstrukce pístových spalovacích motorů, 2. přepracované vydání, Liberec 1992
- 2) Bartovský, T.: Analyzátory emisí, Vuste Servis s. p., Praha 1994
- 3) Beroun, S., Scholz, C.: Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů, Technická univerzita v Liberci, Liberec 1999
- 4) Cibulka, M.: Přesnost měření výfukových emisí spalovacích motorů, Technická univerzita v Liberci, Liberec 1997
- 5) Ďuriš, J. : Rozvod plyných paliv v laboratoři KVM, Technická univerzita v Liberci, Liberec 2007
- 6) Kolektiv autorů: Úvod do strojírenství, Technická univerzita v Liberci, Liberec 2001
- 7) Moc, L. a kol.: Zpráva o řešení úkolu Programu rozvoje zkušebnictví MŽP č. 117/1997 Sb., Technická univerzita v Liberci, Liberec 1998
- 8) Takáts, M.: Měření emisí spalovacích motorů, ČVUT Praha, Praha 1994
- 9) Váňa, J.: Analyzátory plynů a kapalin, SNTL Praha, Praha 1994
- 10) www.linde-gas.cz

10 Seznam příloh

- 1) Typové listy analyzátorů v laboratoři KVM
- 2) Barevné označení tlakových láhví

Příloha č. 1

Měření složky emise T.HC, CH₄

- Typ (výrobce): HORIBA FIA 321 K (Horiba – Japonsko)
- Výrobní číslo: 851023021
- Měřicí systém: FID detektor s děličem pro HC pro metan
- Měřicí rozsah: 0 – 20 až 10000 ppm; celkem 9 měřících rozsahů
- Reprodukovatelnost: $\pm 1\%$ z max. hodnoty měřícího rozsahu
- Reakční doba: pro T.HC 1, 5 s, pro CH₄ 2, 5 s
- Drift: do 1% z max. hodnoty měřícího rozsahu za 8 hodin pro nulovou a max. hodnotu
- Hladina šumu: 1% z max. hodnoty měřícího rozsahu
- Průtok vzorku plynu: 2 ± 1 l/min
- Provozní plyny: palivo: 40% H₂, 60% He 115 ml/min
vzduch bez HC 190 ml/min
- Teplota okolí: 0 – 40 °C
- Relativní vlhkost: do 85%
- Linearita: do 1% z max. hodnoty měřícího rozsahu
- Strukturální závislost: do $\pm 5\%$ proti různým uhlovodíkům (etanol C₃H₈)
- Interference na O₂ do 5% pro C₃H₈
- Dělič HC: oxidace CH₄ menší než 15%
oxidace C₂H₆ větší než 98%
- Analogový výstup: 0 – 1, 0 – 5, 0 – 10 V
nebo 0 – 16 mA, 4 – 20 mA

Měření složky emise T.HC

- Typ (výrobce): FIDAS 2T (Hartmann-Braun)
- Výrobní číslo: 32054406, 32068802, 30824509
- Měřicí systém: FID detektor temperovaný na 190 °C
- Měřicí rozsah: 10, 30, 100, 300, 100 ppm (30824509 – 10x více)
- Reprodukovatelnost: do 0,5% z hodnoty měřicího rozsahu
- Reakční doba: pro T.HC 1, 5 s
- Drift nuly: do 2% z nejmenšího měřicího rozsahu za týden
- Drift citlivosti: do 1% z nejmenšího měřicího rozsahu za týden
- Linearita: 0,5% pro všechny měřicí rozsahy
- Průtok vzorku plynu: 100 – 130 l/h
- Provozní plyny:

palivo:	H ₂	3 l/h
	He	4 l/h
	vzduch bez HC	150 l/h
- Teplota okolí: 10 – 45 °C
- Relativní vlhkost: do 75%
- Strukturální závislost: při kalibraci propanem do 5% měřicího rozsahu pro různé uhlovodíky
- Interference na O₂: při kolísání obsahu kyslíku mezi 0 – 21% je chyba 2% měřicího rozsahu
- Analogový výstup: 0 – 1, 0 – 5, 0 – 10 V
nebo 0 – 16 mA, 4 – 20 mA

Měření složky emise NO_x , NO

- Typ (výrobce): HORIBA MEXA CLA – 150 (Horiba – Japonsko)
- Výrobní číslo: 850236011
- Měřicí systém: CLA chemiluminiscenční analyzátor
- Měřicí rozsah: 0 – 10 až 5000 ppm
- Reprodukovatelnost: $\pm 1\%$ z hodnoty měřicího rozsahu
- Reakční doba: do 2, 5 s
- Drift nuly: $\pm 1\%$ z max. hodnoty měřicího rozsahu za 8 hodin
- Hladina šumu: 1% z max. hodnoty měřicího rozsahu
- Průtok vzorku plynu: 2 ± 1 l/min
- Provozní plyny: O_2 280 – 360 ml/min
- Teplota okolí: 0 – 40 °C
- Relativní vlhkost: do 85%
- Interference na CO_2 : do $\pm 2\%$ z max. hodnoty měřicího rozsahu při 16% CO_2
- Efektivita konvertoru NO_x : lepší než 95% při koncentraci 1000 ppm nebo nižší
- Analogový výstup: 0 – 20 mA

Měření složky emise NO_x

- Typ (výrobce): BECKMAN 951 A (Beckman)
- Výrobní číslo: 0100974
- Měřicí systém: CLA chemiluminiscenční analyzátor
- Měřicí rozsah: 10, 25, 100, 250, 1000, 2500, 10000 ppm
- Citlivost: 0,1 ppm na rozsahu 10 ppm
- Reakční doba: do 1 s pro rozsahy nad 10 ppm
Do 3 s pro rozsah 10 ppm
- Drift: do 1% z max. hodnoty měřicího rozsahu za 24 hod.
- Hladina šumu: 1% z max. hodnoty měřicího rozsahu
- Průtok vzorku plynu: 200 ml/min
- Provozní plyny: O₂ 280 – 360 ml/min
- Teplota okolí: 4 – 37 °C
- Relativní vlhkost: neuvedeno
- Linearita: do 1% z max. hodnoty měřicího rozsahu
- Analogový výstup: 0 – 5 V

Měření složky emise CO

- Typ (výrobce): URAS 3E (Hartmann – Braun)
- Výrobní číslo: 31577874, 31536712
- Měřicí systém: NDIR nedisperzní infračervený analyzátor
- Měřicí rozsah: 100, 250, 500, 1000 ppm
- Reakční doba: do 1 s
- Drift: do $\pm 1\%$ z max. hodnoty měřicího rozsahu za týden
- Hladina šumu: 1% z max. hodnoty měřicího rozsahu
- Průtok vzorku plynu: 30 – 60 l/h
- Provozní plyny: žádné
- Teplota okolí: 5 – 45 °C
- Relativní vlhkost: do 75%
- Linearita: do 1% z měřicího rozsahu
- Analogový výstup: 0 – 10, 2 – 10 V
nebo 0 – 20 mA, 4 -20 mA

Měření složky emise O₂

- Typ (výrobce): OXYMAT 5E (Siemens)
- Výrobní číslo: D5-558
- Měřicí systém: paramagnetický analyzátor
- Měřicí rozsah: 0 – 100% ve volně programovatelných rozsazích
- Reakční doba: do 3, 5 s
- Reprodukovatelnost: $\pm 1\%$ měřicího rozsahu
- Drift: do $\pm 0,5\%$ z max. hodnoty měřicího rozsahu za 3 měsíce
 $\pm 0,5\%$ při konstantní teplotě a tlaku za 3 měsíce
- Hladina šumu: 0,1 – 1% z max. hodnoty měřicího rozsahu
- Průtok vzorku plynu: 0,3 – 1 l/min
- Provozní plyny: N₂ 3 – 10 ml/min
- Teplota okolí: 5 – 45 °C
- Relativní vlhkost: do 90%
- Charakteristika: lineární
- Strukturální závislost: odchylka nulového bodu podle množství a magnetických vlastností přídavných složek plynu
- Analogový výstup: 0 – 20 mA, 4 -20 mA

Příloha č. 2

Přehled stávajícího a nového barevného značení na příkladech

Tabulka barev 1: Čisté plyny/směsi plynů pro průmyslové použití

Stávající stav (převažující)	Nový	Stávající stav (převažující)	Nový
 modrá modrá kyslík technický	 bílá modrá (šedá)	 šedá šedá (černá)	 jasně zelená šedá (jasně zelená) xenon, krypton, neon
 bílá bílá acetylen	 kaštanová kaštanová (bílá, šedá)	 červená červená vodík	 červená červená
 hnědá hnědá argon	 tmavě zelená hnědá (šedá, tmavě zelená)	 červená červená hořlavá směs plynů (směsi: dusík/vodík, argon/vodík)	 červená šedá
 zelená zelená dusík	 černá zelená (šedá)	 šedá šedá stlačený vzduch	 jasně zelená šedá
 černá černá oxid uhlíčitý	 šedá šedá	 šedá šedá inertní směs plynů (směsi: dusík/oxid uhlíčitý, dusík/etylen, argon/oxid uhlíčitý, argon/kyslík, argon/oxid uhlíčitý/kyslík)	 jasně zelená šedá
 hnědá hnědá helium	 hnědá (jasně zelená) hnědá (šedá)		

Poznámka:

Válcová část lahve může být označena různými barvami, z nichž jedna je zde zobrazena barevně a ostatní jsou uvedeny v závorce.